

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA E
DELL'INFORMAZIONE "*GUGLIELMO MARCONI*"

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

TITOLO DELL'ELABORATO

ECGSIM: un programma per la simulazione interattiva di tracciati
ECG a scopo didattico e di ricerca

Elaborato in

Strumentazione Biomedica e Ingegneria Clinica

Relatore

Claudio Lamberti

Presentata da

Riccardo Gargiulo

Anno Accademico 2018/2019

Indice

1. ECGSIM	pag. 7
2. Introduzione	pag. 9
3. Funzione di trasferimento	pag. 11
4. Funzioni base	pag. 13
5. Pannello del cuore	pag. 15
5.1. Azioni	
5.1.1. Rotazione e sezionamento del cuore	
5.1.2. Select	
5.1.3. Radius	
5.1.4. Probe	
5.1.5. Foci edit	
5.2. Funzioni della superficie	
5.2.1. Atri e ventricoli	
5.2.2. Valori iniziali o modificati dei parametri	
5.2.3. Funzioni	
5.2.4. Wall selection	
5.2.5. Cumulation mode	
5.2.6. Show vector	
5.2.7. Show/hide lead system electrodes	
5.2.8. Color maps	
5.2.9. Focus: modifica della sequenza di depolarizzazione	
6. Pannello del torace	pag. 25
6.1. Funzioni della superficie	
6.1.1. Show/hide lungs	
6.1.2. Show/hide lead system electrodes	
6.1.3. Lock the heart	
6.1.4. Scale	
6.1.5. Movie	
6.1.6. Selezionare un nodo sul torace	

7. Pannello del TMP	pag. 29
7.1. Potenziale di transmembrana	
7.2. Cambiare la forma della curva del TMP	
7.3. Mostra/nascondi EGM	
8. Pannello delle derivazioni	pag. 33
8.1. Tracciati	
8.2. Accoppiamento/filtraggio	
8.3. Selezione dell'istante di tempo	
8.4. Vettorcardiogramma (VCG)	
8.5. Zoom e scala degli assi	
8.6. Visualizzazione dei valori sul tracciato	
9. Finestra degli strumenti	pag. 39
9.1. Tools	
9.2. Views	
9.3. AV Conduction	
9.4. Global TMP parameters	
9.5. Transition zone	
10. Finestra delle preferenze	pag. 43
10.1. Preferences	
10.2. Color maps	
10.3. Grid	
10.4. Thorax/Heart	
10.5. TMP	
11. Edit menu	pag. 45
11.1. Undo/redo	
11.2. Reset beat	
11.3. Copy	
11.4. Time	
12. File menu	pag. 49
12.1. Open	
12.2. Open default	
12.3. Save/save as	

12.4.	Load ECG file	
12.5.	Export	
12.6.	ECG files	
12.7.	Triangulation files	
12.8.	Source parameters	
12.9.	TMP waveforms	
12.10.	Lead locations	
13.	Formati dei file	pag. 51
13.1.	Matrix	
13.2.	ASCII files	
13.3.	Geometry files	
14.	Download e installazione	pag. 53
15.	Conclusione e commenti	pag. 55
16.	Bibliografia e approfondimenti	pag. 57

ECGSIM

ECGSIM è un simulatore interattivo utile allo studio e alla comprensione delle relazioni tra le attività elettriche delle cellule miocardiche e i potenziali elettrici registrati tramite elettrodi sulla superficie cutanea del corpo umano.

Il modello teorico è stato sviluppato a partire dal 1972 grazie ad una collaborazione tra i dipartimenti di Fisica Medica, di Cardiologia e di Fisiologia Clinica dell'Università di Amsterdam (Paesi Bassi), e ampliata, a partire dal 1981, presso il dipartimento di Fisica Medica dell'Università di Nijmegen (Paesi Bassi).

Didattica

Uno degli scopi principali di ECGSIM è quello di fornire uno strumento per l'apprendimento da parte degli studenti dei fondamenti dell'elettrocardiografia, sia per lo studio individuale che come supporto all'insegnamento in aula. Seguendo le istruzioni si potrà modificare l'attività elettrica del cuore e osservarne gli effetti sul tracciato ECG.

Ricerca

ECGSIM può essere utilizzato anche come strumento di ricerca da tutti coloro che vogliono testare le ipotesi di patologie cardiache come possibile causa di anomalie nel tracciato ECG.

Nota importante

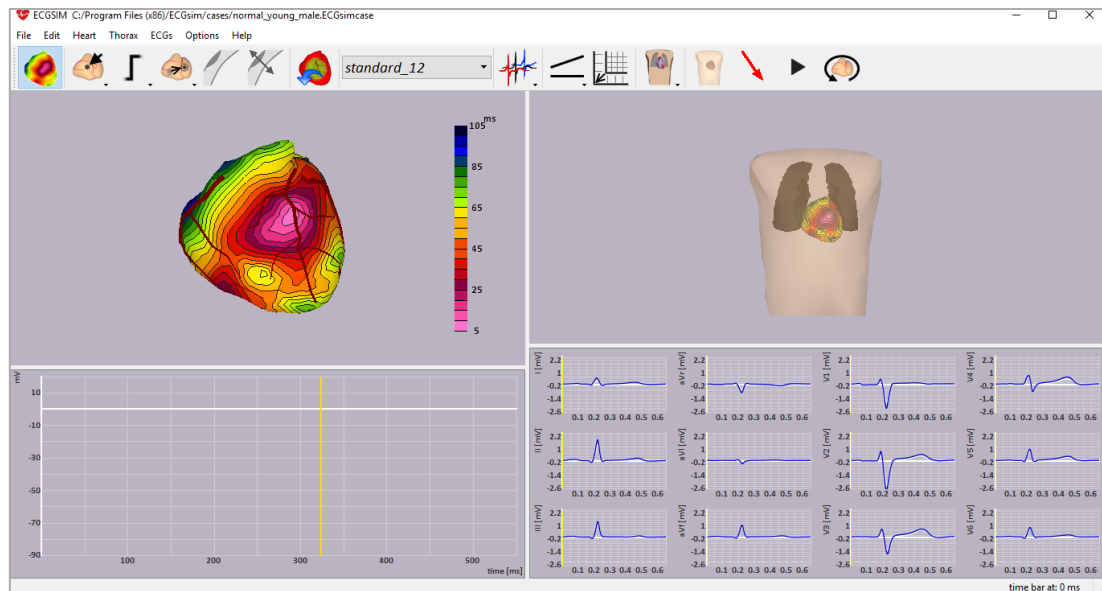
Qualsiasi impiego in ambito diagnostico è solo indiretto.

ECGSIM fornisce solo una simulazione a partire da patologie ipotizzate, non assolve al compito inverso.

Introduzione

ECGSIM simula segnali ECG mostrando la distribuzione dei punti di origine degli impulsi elettrici, di atri e ventricoli, sulla superficie S_b (costituita da epicardio, endocardio e dalle connessioni alla base del cuore) del miocardio. L'intensità di origine dell'impulso è considerata proporzionale istante per istante al potenziale non omogeneo di transmembrana TMP . Il potenziale di transmembrana è indicato per n nodi, dove $n = [1 \dots N]$ sono i vertici di una maglia triangolare che rappresenta la superficie S_b del miocardio.

Per ogni nodo il TMP è determinato a partire da diversi parametri, tra i quali i principali sono: il tempo di depolarizzazione $dep(n)$, il tempo di ripolarizzazione $rep(n)$ e il parametro $str(n)$ che imposta l'intensità del picco di salita. È fornito un insieme di valori predefiniti per ognuno di questi parametri. La qualità di queste simulazioni può essere verificata confrontando il segnale simulato (tracciato *bianco*) e il segnale misurato (tracciato *blu*) nel pannello in basso a destra della figura sottostante.



(Finestra principale di ECGSIM del case file *normal_young_male*)

Il programma consente delle modifiche interattive di tutti i parametri impostati per studiarne l'effetto sul tracciato ECG. Vedi la sezione dedicata al TMP per la descrizione di tutti i parametri.

Come già detto il punto d'origine del potenziale corrispondente sulla superficie del cuore è la distribuzione dei TMP locali sul miocardio. Il procedimento utilizzato per determinare l'espressione di questi punti d'origine a partire dai potenziali sulla superficie del corpo è stato sviluppato applicando le leggi del flusso di corrente attraverso un mezzo non omogeneo (torace), la cui geometria mostrata è basata su immagini di risonanza magnetica.

Nella versione precedente di ECGSIM le simulazioni erano limitate alla sola attività elettrica dei ventricoli, mentre in quella corrente è stata inclusa anche l'attività elettrica degli atri, che consente la simulazione della morfologia dell'onda P.

La risoluzione spaziale della superficie S_b del miocardio è stata migliorata aumentando sia il numero dei nodi da $N = 257$ a $N = 1500$ ugualmente distribuiti, sia il realismo della maglia nella regione del tratto di uscita del sangue del ventricolo destro (ROVT, Right Ventricular Outflow Tract). Sono stati inclusi anche parametri di forma aggiuntivi per le specifiche delle forme d'onda dei TMP.

Nota: l'attività elettrica riferita agli atri è presente solo nel case file *normal_young_male* e solo in esso la geometria del cuore è costituita da 1500 nodi. In tutti gli altri *case files* l'attività elettrica è riferita solo ai ventricoli e i nodi sono 257.

Funzione di trasferimento

Il modello implementato in ECGSIM è chiamato *Equivalent Double Layer Type of Surface Source Model*. Il potenziale $V(y,t)$ alla posizione y sulla superficie del corpo e al tempo t è dato da:

$$V(y,t) = \int A(x,y) S(x,t)$$

Dove \int denota l'integrale sulla superficie del miocardio ventricolare (o atriale), $S(x,t)$ il potenziale di transmembrana alla posizione x sulla superficie del miocardio ventricolare al tempo t e $A(x,y)$ la funzione di trasferimento.

La funzione di trasferimento quantifica le proprietà volumetriche di conduzione del torace. I suoi parametri seguono le leggi del flusso di corrente elettrica. La funzione di trasferimento utilizzata in ECGSIM è stata calcolata per un modello che comprende sia cuore che torace, includendo le disomogeneità causate dalla maggiore conducibilità elettrica del sangue nelle cavità e dalla minore conducibilità dei polmoni. La geometria di cuore e torace è stata realizzata a partire da immagini di risonanza magnetica del soggetto a cui fa riferimento il tracciato ECG.

La funzione di trasferimento $A(x,y)$ può essere visualizzata sia sul cuore alla posizione x che sul torace alla posizione y in $\mu V/cm^2$:

- Per visualizzare la funzione di trasferimento sulla superficie del cuore è necessario prima selezionare un nodo sul torace (*heart contribution*). La funzione visualizzata (corrispondente ad una riga della matrice di trasferimento) è la proiezione di tutti i punti del cuore sul nodo selezionato sul torace. Può essere interpretata come la somma dei contributi, di ogni punto sulla superficie del cuore da cui origina un potenziale, al tracciato ECG in corrispondenza del nodo selezionato sul torace (il tracciato ECG corrispondente può essere visualizzato in modalità *single_lead* del *pannello dei tracciati*).

- Per visualizzare la funzione di trasferimento sul torace è necessario prima selezionare un nodo sulla superficie del cuore (*sensitivity map*). La funzione visualizzata (corrispondente ad una colonna della matrice di trasferimento) è la proiezione del nodo selezionato sulla superficie del cuore a tutti i punti del torace. Può essere interpretato come la somma dei contributi di ogni singolo punto da cui origina un potenziale (secondo il *modello EDL*) al potenziale sulla superficie del corpo.

Funzioni base

La maggior parte delle interazioni di ECGSIM è controllata tramite mouse/trackpad e tastiera. Le principali operazioni eseguibili sono:

- *Trascinamento*: muovendo il mouse e tenendo premuto uno dei due tasti (destra/sinistra), a seconda del pannello che si sta utilizzando.
- *Selezione*: cliccando uno dei due tasti del mouse.

La schermata principale di ECGSIM è composta di 4 pannelli:



- *Pannello del cuore*: in alto a sinistra.
- *Pannello del torace*: in alto a destra.
- *Pannello del TMP*: in basso a sinistra.
- *Pannello dei tracciati*: in basso a destra.

I margini interposti ai pannelli possono essere tutti modificati a piacimento tramite trascinamento e tenendo premuto il tasto sinistro del mouse. Per ogni pannello è presente un menu a tendina degli strumenti, che modificano le modalità di visualizzazione dei pannelli.

Le funzioni utilizzate più di frequente sono presenti anche nella barra degli strumenti. Per visualizzare una breve descrizione delle funzioni di ognuna di queste icone, è sufficiente sostare con il cursore del mouse su di esse per qualche secondo.

Il cuore e il torace possono essere ruotati tramite trascinamento, tenendo premuto il tasto destro del mouse. La vista predefinita, *AP view* (vista frontale naturale), può essere reimpostata con un *doppio click* dei uno dei due tasti del mouse.

Cliccando con il tasto sinistro del mouse sulla superficie del cuore (nel *pannello del cuore*), si seleziona su di essa il nodo più vicino e sul *pannello del TMP* sarà dunque visibile il potenziale di transmembrana corrispondente a tale nodo.

Attraverso la gestione dei parametri (vedi  e  sezione dedicata al *pannello del TMP*), è possibile modificare depolarizzazione, durata, plateau, ampiezza e ripolarizzazione del TMP e della regione circostante. Le modifiche possono essere visualizzate sulla superficie del cuore (nel *pannello del cuore*), se è stata selezionata la funzione di superficie corrispondente al parametro che si vuole visualizzare. L'effetto di queste modifiche sul potenziale rilevato dagli elettrodi è invece visibile sia nel *pannello*

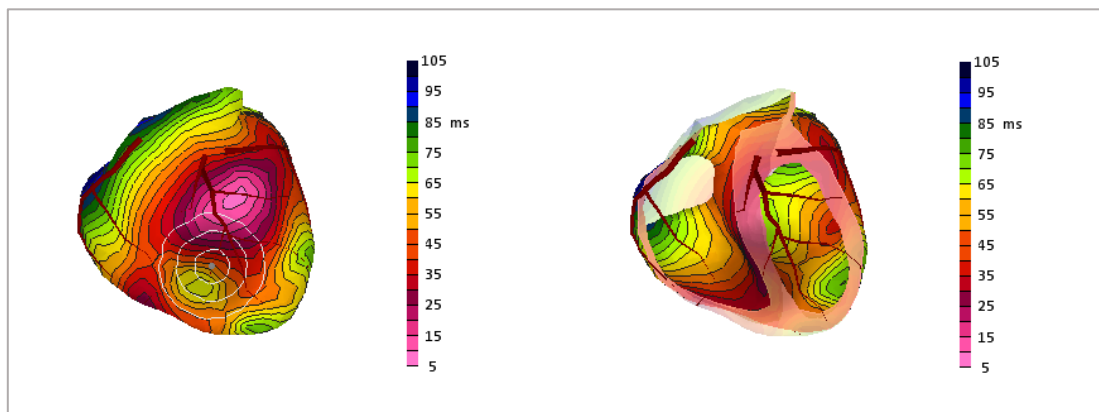
del torace (sempre selezionando la funzione di superficie corrispondente al parametro che si vuole visualizzare) che nel *pannello dei tracciati*.

La barra di stato in cima alla finestra principale di ECGSIM mostra le informazioni generali dell'applicazione.

Pannello del cuore

Il *pannello del cuore* mostra la geometria dell'organo (sia degli atri che dei ventricoli) e una vasta gamma di funzioni sulla sua superficie. Per facilitare la corretta interpretazione dell'orientamento dei ventricoli sono state inserite l'arteria discendente sinistra (LAD), l'arteria coronaria destra (RCA) e l'arteria circonflessa sinistra (LCx). Sono visibili tutte e tre solo nel case file *normal_young_male*, in tutti gli altri è visibile una sola delle arterie (LAD).

La funzione di superficie visualizzata può essere cambiata attraverso diversi strumenti di modifica (vedi *funzioni di superficie*). Esempi di come sono visualizzate le modifiche, apportate da queste azioni sui parametri del potenziale di transmembrana TMP, nella regione che circonda il nodo selezionato (*cerchi concentrici bianchi* nella figura in basso a sinistra), o sullo stato di attivazione di tale nodo, sono mostrati nelle figure sotto.



(Pannello del cuore con vista intera e vista sezionata nel case file *young_male*)

L'immagine visualizzata del cuore può essere copiata negli appunti:

- *Edit* → *Copy* → *Heart*

oppure

- Premendo *Ctrl+C* quando il cursore è puntato sul *pannello del cuore*.

Si può utilizzare l'opzione *Movie* per vedere la sequenza temporale dei siti di attivazione del cuore (vedi la sezione dedicata al *pannello del torace*).

Per scegliere una scala di colori preferita vedere *Preferences*.

Azioni

Rotazione e sezionamento del cuore

L'orientamento del cuore può essere modificato tenendo premuto il *tasto destro* del mouse e muovendo il cursore. Tramite *doppio click* si reimposta l'orientamento predefinito (vista frontale).

Tenendo premuto il tasto *< Shift >* della tastiera e scrollando la rotellina del mouse si ottiene una sezione progressiva del miocardio, rimuovendo la parte di essa parallela al punto di vista impostato (come mostrato a destra nella figura sopra).

Lo stesso effetto, ma con minore sensibilità, lo si ottiene premendo i tasti *freccia su* e *freccia giù* al posto della rotellina (deve essere prima effettuato un *focus* sul cuore cliccando su di esso).

Il piano di sezione è inizialmente settato parallelamente al piano dello schermo. A seguito delle rotazioni questo non lo sarà più, dunque per riportarlo in tali condizioni è necessario effettuare un *doppio click* del mouse tenendo premuto *< Shift >*.

Dal menu principale (alla voce *Heart* → *left mouse* → ...) è possibile selezionare differenti modalità di selezione dei nodi e delle regioni sulla superficie del cuore, che sono di seguito elencate e descritte.

Select

Cliccando con il *tasto sinistro* del mouse sulla superficie del miocardio si selezionerà il nodo più vicino, evidenziato da un punto grigio (come mostrato a sinistra in figura nella pagina precedente). Nella modalità predefinita (*single adaptation*) può essere selezionato un solo nodo alla volta, cliccando in un punto differente il nodo precedente viene deselezionato.

Ci sono diversi modi nei quali può essere combinata la regione intorno al nodo selezionato del cuore (vedi *modifiche aggiuntive*).

Nel *pannello del TMP* viene mostrato il potenziale del nodo selezionato. L'area in cui si verificano gli adattamenti è indicata tramite cerchi concentrici attorno al nodo distanziati di *10 mm* l'uno dall'altro (vedi *Radius*).

Radius

Il raggio della regione che circonda il nodo selezionato (indicata da cerchi concentrici) può essere aumentato o ridotto a piacimento tramite diverse azioni:

- 1) Cambiando la funzione del *tasto sinistro* del mouse nel menu a tendina (*Heart* → *left mouse* → *radius*) e tenendolo premuto durante il movimento.
- 2) Scrollando la rotellina del mouse.
- 3) Utilizzando i tasti *freccia su* e *freccia giù* della tastiera (deve essere prima effettuato un focus sul cuore cliccando sul pannello dedicato).

Con le azioni 1 e 2 il raggio viene ampliato o ridotto di 2 *mm* alla volta e a ogni aumento di 10 *mm* viene aggiunto un cerchio concentrico.

Probe



È lo strumento *sonda*, utilizzato per visualizzare nel *pannello del TMP* il potenziale relativo alla posizione selezionata, oppure (impostando *sensitivity map*) per visualizzare nel *pannello del torace* l'effetto elettrico del nodo sulla superficie del corpo.

Foci edit

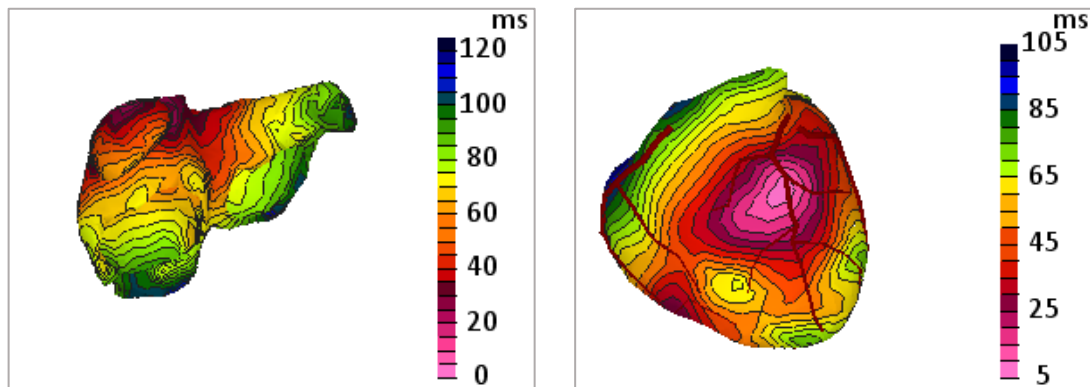
Cliccando su questa icona si aprirà un pannello per la modifica dei parametri del nodo selezionato. Con questa funzione è possibile simulare anomalie in punti precisi del miocardio.

Per maggiori dettagli su questa funzionalità vedi la sezione (*Focus: modifica della sequenza di depolarizzazione*) descritta più avanti.

Funzioni della superficie

Atri  e ventricoli 

Per alcuni *case files* sono disponibili sia gli atri che i ventricoli. Nel caso sia presente l'icona nel menu (*Heart* → *show* → *active source*), questa permette di selezionare alternativamente gli uni o gli altri, ma ciò si verifica solo se il file caricato contiene dati sia per gli atri che per i ventricoli.



(Rappresentazioni del miocardio nel pannello dedicato)

Valori iniziali  o modificati  dei parametri

Sia per gli atri che per i ventricoli si possono visualizzare i parametri iniziali o modificati, selezionando l'icona corrispondente dal menu (*Heart* → *show* → *initial or adapted surface values*). Nel caso in cui siano visualizzati i valori iniziali le funzionalità del *tasto sinistro* del mouse sono *disabilitate* ed è possibile solo ruotare il cuore.

Questa funzione è molto utile e permette di visualizzare i cambiamenti a seguito delle modifiche dei parametri senza dover reimpostare il cuore alle condizioni iniziali.

Funzioni

Sono disponibili diverse funzioni per la visualizzazione delle informazioni sulla superficie del cuore (*Heart* → *function* → ...).



Depolarization: mostra una mappa dei tempi di depolarizzazione dei nodi sulla superficie del cuore.



Repolarization: mostra una mappa dei tempi di ripolarizzazione.



ARI: mostra una mappa dei tempi di riposo.

(Questa opzione non fornisce informazioni aggiuntive nella modalità *movie*).



Amplitude: mostra la mappa delle ampiezze dei picchi di depolarizzazione dei nodi e può essere utilizzata per visualizzare le modifiche effettuate sulla curva nel *pannello del TMP*. (Questa opzione non fornisce informazioni aggiuntive nella modalità *movie*).



Resting potential: mostra la mappa dei potenziali di riposo dei TMP e può essere utilizzata per visualizzare le modifiche effettuate sulla curva nel *pannello del TMP*. (Questa opzione non fornisce informazioni aggiuntive nella modalità *movie*).



TMP: mostra una mappa dei TMP in un preciso istante, selezionato tramite la *barra gialla* nel *pannello del TMP*.



Geometry: mostra la geometria del cuore, compresi tutti i nodi selezionabili. (Questa opzione non fornisce informazioni aggiuntive nella modalità *movie*).



Heart contribution: mostra il contributo elettrico del cuore a un punto selezionato del torace. Gli effetti sono visibili solo se è stato selezionato un nodo sul torace, in caso contrario non sarà visualizzato alcun contributo. (Questa opzione non fornisce informazioni aggiuntive nella modalità *movie*).



Potential field: mostra una mappa della distribuzione dell'intensità del campo elettrico del potenziale nel cuore in un preciso istante, selezionato tramite la *barra gialla* nel *pannello del TMP*.

Wall selection

Con queste opzioni è possibile modificare il metodo di selezione e visualizzazione del nodo sulla superficie del cuore (*Heart* → *wall selection* → ...).



Switch side: la selezione del nodo viene portata dalla superficie dell'endocardio a quella corrispondente sulla superficie dell'epicardio e viceversa.



Transmural: permette di trattare il potenziale del nodo selezionato come trasmurale (*membrana chiusa*) oppure no (*membrana aperta*). Nel caso in cui sia trattato come trasmurale viene disattivata l'opzione *switch side*.

Cummulation mode

Tramite queste opzioni è possibile cambiare la modalità di selezione dei nodi sulla mappa, modificandone l'area e i rispettivi tracciati (*Heart* → *cummulation mode* → ...).



Single region: seleziona un'area applicando ad essa le modifiche effettuate su quella precedentemente selezionata, resettando quest'ultima ai valori predefiniti.



Expand region: amplia l'area selezionata con una o più aree limitrofe. Le modifiche apportate all'area precedentemente selezionata sono applicate all'intera combinazione di aree scelte.



Multiple regions: ad ogni selezione di una nuova area non vengono resettate le modifiche effettuate su quella precedente.

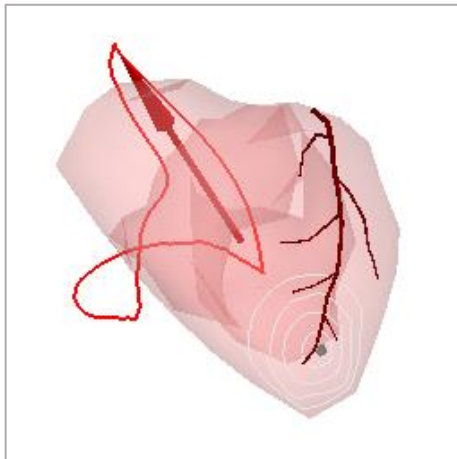
Show vector

Si accede a questa opzione a partire dal menu principale (*Options* → *show Vector*). Se attivata viene mostrato il vettore cardiaco con una *freccia rossa* e il suo andamento con un *tracciato rosso* in un'immagine semitrasparente del miocardio. Il suo orientamento varia istante per istante (scorrendoli tramite la *barra gialla* nel *pannello del TMP*).

Il vettore è visualizzato anche nel *pannello del torace*, accompagnato da un ingrandimento del suo andamento.

Una volta selezionata questa modalità non sono più disponibili altre funzioni di superficie, è possibile solo ruotare cuore e torace ed eventualmente selezionare nodi per visualizzarne il TMP.

È una delle opzioni più utili a scopo didattico, soprattutto in modalità *single_lead*, poiché è possibile visualizzare l'andamento del tracciato ECG in corrispondenza della posizione dell'elettrodo di superficie e del verso del vettore cardiaco istante per istante.



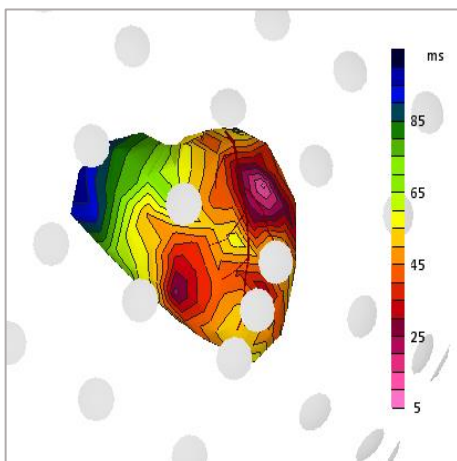
(Vettore nel pannello del cuore)



(Vettore nel pannello del torace)

Show/hide lead system electrodes

La posizione degli elettrodi del sistema di derivazioni selezionato può essere visualizzata simultaneamente sia sul cuore che sul torace, indicata da *bottoni grigi* (*Options* → *show/hide lead system electrodes*).



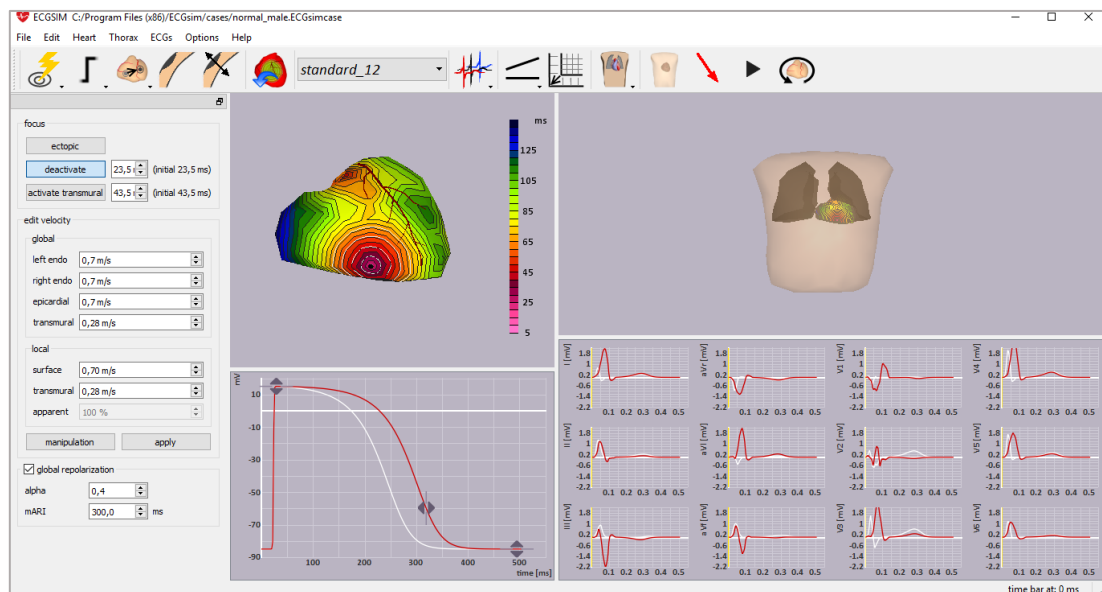
(Elettrodi su cuore e torace nelle derivazioni BSM_(nijmegen_64))

Color maps

I colori dei tempi e delle ampiezze sulla superficie del cuore si modificano automaticamente al variare dei parametri. Non è possibile apportare modifiche alla distribuzione dei colori da parte dell'utente, ma è concessa la scelta fra diverse scale predefinite per i parametri *time*, *potentials* e *TMP* (*Options* → *preferences* → *color maps*).

Focus: modifica della sequenza di depolarizzazione

La modalità *foci edit* si attiva dal menu principale (*Heart* → *left mouse* → *foci edit*). Attivandola si aprirà una finestra agganciabile, che può essere trascinata sullo schermo a seconda delle esigenze. Tramite *doppio click* è possibile fissare la finestra come pannello aggiuntivo a sinistra dello schermo. Selezionando qualunque altra funzione del *pannello del cuore* questa finestra si chiuderà automaticamente.



(Modalità *Foci edit* ancorata come pannello)

Quando ci si trova nella modalità *foci edit* ed è selezionato un nodo sulla superficie del cuore, a esso può essere associata una depolarizzazione anticipata (*activate/deactivate*) o un focus ectopico (*ectopic*). L'utente può inoltre specificare se il nodo nella parte opposta della parete del miocardio deve essere usato come focus oppure non considerato (*activate/deactivate transmural*). Questa funzione è stata aggiunta per simulare l'inizio

dell'attivazione all'interno della parete o su una sola delle due superfici (endocardio/epicardio).

La velocità di propagazione di un'onda di depolarizzazione può essere modificata in area locale o globale. Il modo con cui si adatta la velocità dipende dalla modalità di operazione:

- *Construction:* consente di modificare singolarmente le velocità su endocardio destro/sinistro, epicardio e trasmurale. La velocità trasmurale è inferiore a causa dell'orientamento delle fibre del miocardio (valori tipici sono 0.7 ms^{-1} oltre la parete e 0.3 ms^{-1} trasmurale).
- *Manipulation:* in questa modalità sia la velocità sopra la parete che quella trasmurale dipendono dalla sequenza di depolarizzazione iniziale, per cui l'utente può modificare la propagazione locale di velocità in percentuale di quella inizialmente stimata.

Foci edit

focus

ectopic

deactivate 23,5 ms (initial 23,5 ms)

activate transmural 43,5 ms (initial 43,5 ms)

edit velocity

global

left endo 0,7 m/s

right endo 0,7 m/s

epicardial 0,7 m/s

transmural 0,28 m/s

local

surface 0,70 m/s

transmural 0,28 m/s

apparent 100 %

manipulation apply

☒ global repolarization

alpha 0,4

mARI 300,0 ms

(Construction Mode)

Foci edit

focus

ectopic

deactivate 23,5 ms (initial 23,5 ms)

activate transmural 43,5 ms (initial 43,5 ms)

edit velocity

global

left endo 0,7 m/s

right endo 0,7 m/s

epicardial 0,7 m/s

transmural 0,28 m/s

local

surface 0,70 m/s

transmural 0,28 m/s

apparent 100 %

construction apply

☒ global repolarization

alpha 0,4

mARI 300,0 ms

(Manipulation Mode)

I tempi di ripolarizzazione sono ricalcolati tramite un approccio euristico (spuntando *global repolarization*). Se sono stati selezionati uno o più foci di attivazione sulla superficie del cuore, l'intervallo di riposo prima della successiva depolarizzazione (*ARI: activation recovery interval*) per ognuno degli n nodi è calcolato tramite la formula:

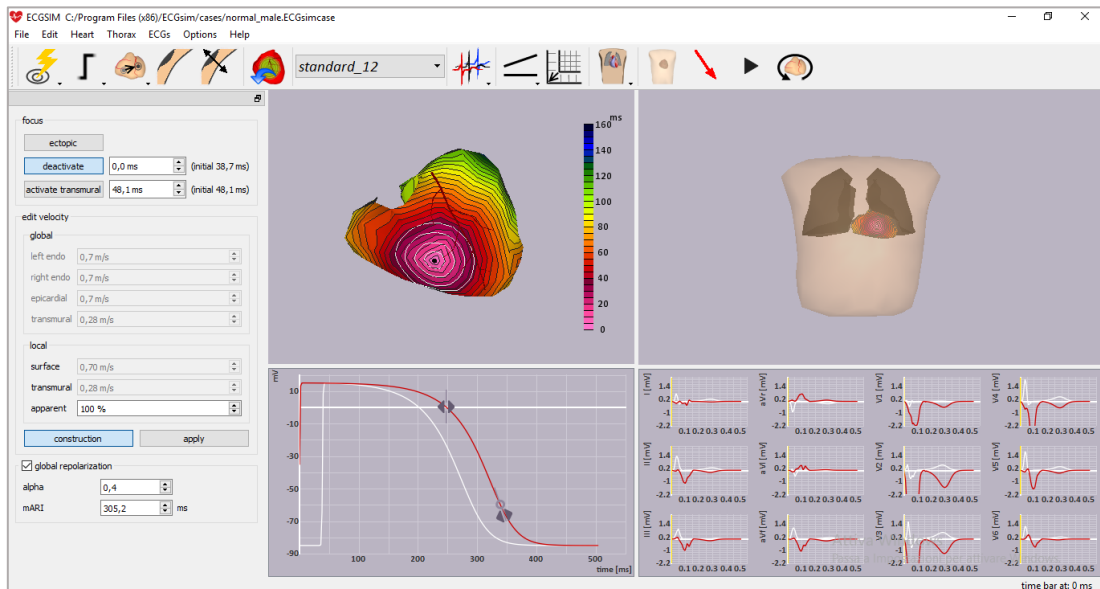
$$ARI(n) = mARI - \alpha \cdot dDEP(n)$$

Con $mARI(n) = \text{mean}(ARI)$ e $dDEP(n) = DEP(n) - \text{mean}(DEP)$, dove $mARI$ è la media degli ARI definita dall'utente e α il coefficiente della relazione lineare tra il *tempo di depolarizzazione* e ARI .

L'impiego di questa formula è frutto delle seguenti considerazioni.

La distribuzione originale della durata di un potenziale d'azione è solo parzialmente un'espressione di caratteristiche intrinseche del miocardio, per un'altra parte è il risultato della distribuzione dei tempi di attivazione, dove le zone che si depolarizzano prima tendono a ripolarizzarsi più tardi. Quindi la nuova durata del potenziale d'azione coincide con l'originale, più un termine negativo che genera un ritardo. Il valore 0.4 predefinito di α è frutto di una relazione statistica tra tempi di depolarizzazione e ripolarizzazione descritti in *Genesis of the T-wave as based on an Equivalent Surface Source Model* ⁽¹¹⁾.

L'intera *onda T* può essere traslata sull'asse dei tempi modificando $mARI$.



(Focus ectopico)

Pannello del torace

Questo pannello mostra la geometria del torace e diverse funzioni sulla sua superficie.

La rotazione del torace è possibile muovendo il mouse tenendo premuto il *tasto destro*.

Tramite *doppio click* è possibile invece reimpostare il punto di vista predefinito (vista frontale naturale).

Se è stato selezionato un nodo sulla superficie del cuore, questo viene mostrato come un *punto scuro*.



(Vista frontale del torace con elettrodi)

Il contenuto del *pannello del torace* può essere copiato dal menu principale (*Edit* → *Copy* → *Thorax*) oppure prendo *Ctrl+C* mentre il puntatore è posizionato su di esso.

In modalità *movie* riproduce le funzioni in sequenza temporale.

Funzioni della superficie

Di default sono mostrate le geometrie di cuore, polmoni e torace. In aggiunta sono fornite le modalità di visualizzazione dei potenziali rilevati sulla superficie del corpo (*BSMP: body surface measured potential*) in un preciso istante di tempo selezionato sul *pannello del TMP*.

È possibile selezionare le funzioni di visualizzazione del torace dal menu principale (*Thorax* → ...):



Geometry: impostata di default fornisce la geometria del torace semi-trasparente e quelle del cuore e dei polmoni. La geometria dei polmoni può essere nascosta.



Measured: mostra la mappa dei *BSMP*.



Initial: simula i *BSMP* con in corrispondenza dei parametri iniziali stabiliti.

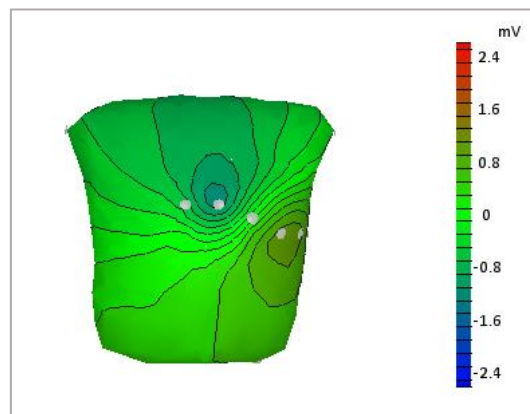


Adapted: simula i *BSMP* con in corrispondenza dei parametri modificati nel *pannello del TMP*.





Sensitivity map: mostra la mappa della sensibilità sul torace ad un punto selezionato sul cuore tramite lo strumento *probe* (nel caso in cui non sia selezionato alcun punto, non verrà visualizzato alcun tracciato sulla mappa).

Quando è selezionata una delle funzioni precedenti, premendo i tasti *freccia destra* e *freccia sinistra* è possibile muovere la *barra gialla* nel *pannello del TMP* e cambiare gli istanti temporali. Il medesimo risultato si ottiene agendo direttamente col cursore del mouse sulla barra.





(Vista frontale in modalità *sensitivity map*)


Show/hide lungs

I polmoni possono essere mostrati all'interno del torace cliccando sull'icona  nel menu principale alla voce *Thorax*, oppure nascosti cliccando sull'icona .

Show/hide lead system electrodes

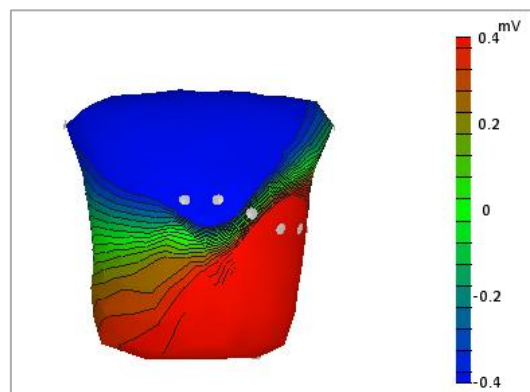
Gli elettrodi sul torace e sulla superficie del cuore possono essere mostrati selezionando l'icona  dal menu principale alla voce *Heart* → *show*, oppure nascosti cliccando sull'icona .

Lock the heart

L'orientamento e la rotazione di cuore e torace di default sono indipendenti, è però possibile fare in modo che avvengano simultaneamente sia che si agisca su uno che sull'altro selezionando l'icona  nel menu principale alla voce *Thorax*. Una volta attivata, quando si ruota il cuore il torace compie la medesima rotazione e viceversa ruotando il torace, inoltre tramite *doppio click* viene reimpostata la vista predefinita di entrambi.

Scale

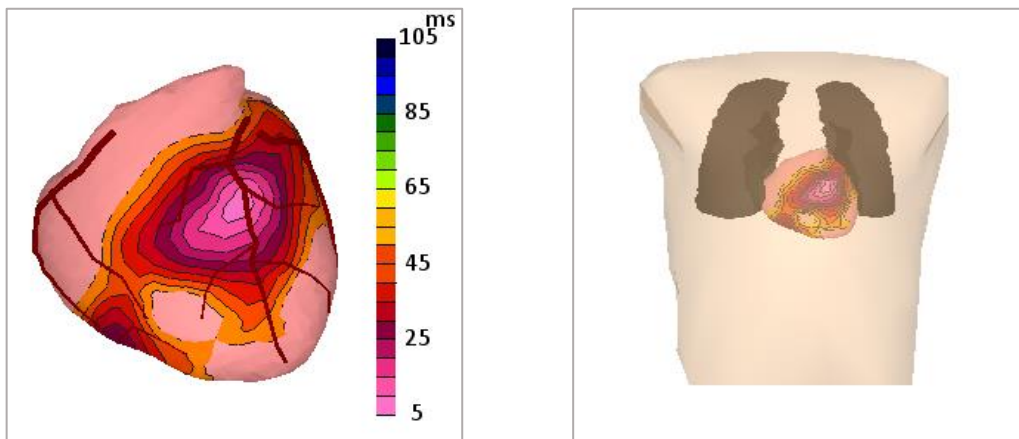
Il range di valori della legenda a destra del torace nelle *modalità BSMP* può essere ampliato o ridotto *scrollando* la rotellina del mouse oppure premendo i tasti *freccia su* e *freccia giù* (solo se il cursore si trova sul *pannello del torace*).



(Stessa vista frontale precedente ma con range di valori diminuito)

Movie

L'opzione *movie* consente di visualizzare l'andamento temporale dei potenziali nel tempo in sequenza. Può essere attivata o stoppata cliccando sulle icone ► o ■ sulla *toolbar*. Il loop della sequenza inizia a 0 ms e termina alla fine dell'asse dei tempi del *pannello del TMP*, per poi ripartire. Quando i tempi di depolarizzazione sono mostrati sul cuore si vedrà la progressione dell'onda di attivazione su di essa, sia sul *pannello del cuore* che sul *pannello del torace*.



(Visualizzazione simultanea dei potenziali sul miocardio entro i 65 ms su entrambi i pannelli)

Selezionare un nodo sul torace

Quando sul *pannello del cuore* è attiva la modalità *heart contribution*, è possibile spostare un elettrodo posizionato sul torace (*punto grigio*), cliccando su di esso con il *tasto sinistro* del mouse. Può essere selezionato un solo nodo alla volta, cliccando su un altro nodo quello precedente verrà deselezionato.

Sul *pannello del cuore* sarà visibile il contributo elettrico in μV del cuore in corrispondenza del punto selezionato sul torace.

Se viene selezionata sulla *toolbar* la modalità *single_lead*, per la visualizzazione del tracciato ECG di un solo elettrodo, è possibile spostare quest'ultimo sul torace in modo analogo al precedente.


Nota: la visualizzazione degli elettrodi deve essere attiva, altrimenti la selezione dei nodi sarà più complicata in quanto non sarà visibile l'elettrodo di rilevazione.

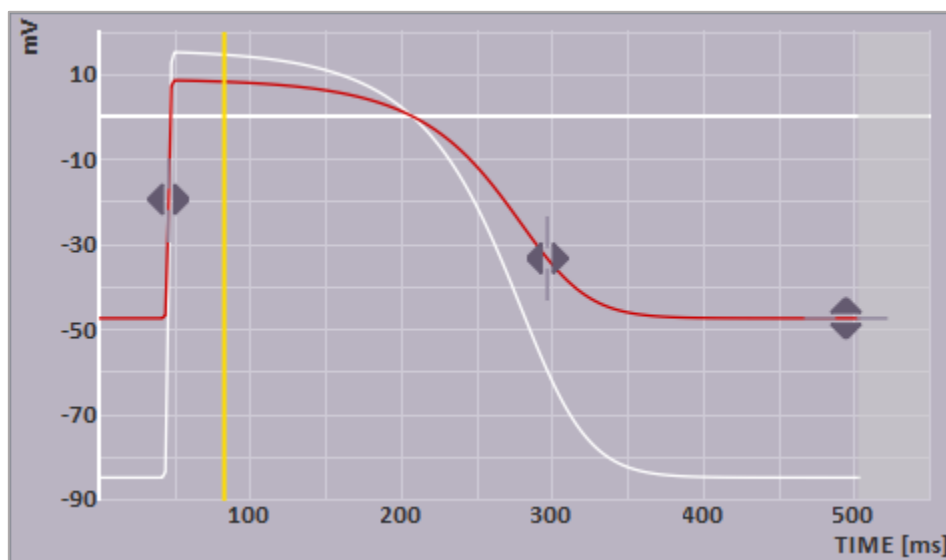
Pannello del TMP

Potenziale di transmembrana (TMP)

Il *pannello del TMP* mostra il potenziale di transmembrana in corrispondenza del nodo selezionato sulla superficie del cuore.

Il grafico presenta il potenziale espresso in *mV* sull'asse delle ordinate e il tempo in *ms* sull'asse delle ascisse. La curva tracciata in *bianco* è legata ai parametri iniziali del nodo selezionato, mentre il tracciato *rosso* è legato ai parametri modificati (se non sono state apportate modifiche i due tracciati coincideranno e sarà visibile solo il tracciato *rosso*).


La forma della curva può essere modificata sul grafico trascinando i *cursori*  nelle direzioni indicate dalle frecce.



(Tracciato nel pannello del TMP)

La *linea gialla* può essere trascinata, cliccando con il *tasto sinistro* del mouse, lungo tutto l'asse dei tempi e serve a selezionare un singolo istante della curva. È utilizzata per la visualizzazione di altri parametri nei pannelli di cuore e torace ed è *agganciata* a quelle presente sui *tracciati ECG*, indicando ad ogni movimento lo stesso istante sia nel *pannello del TMP* che nel *pannello dei tracciati*.

Ogni modifica effettuata sul tracciato può essere annullata reimpostandolo alle condizioni

iniziali, cliccando sull'icona di *reset beat*  nel menu *Edit* o sulla *Toolbar*.

Cambiare la forma della curva del TMP

Al momento ECGSIM utilizza 6 parametri per descrivere il tracciato del TMP in corrispondenza di un nodo selezionato. Questi parametri sono divisibili in due gruppi di funzioni, ai quali si può accedere dal menu principale (*Heart* → *modify timing/amplitude or waveform*).

◆ Parametri di tempo e ampiezza

- 1) *Tempo di depolarizzazione*: è il tempo di salita più rapido del TMP.
- 2) *Tempo di ripolarizzazione*: definito come il tempo di massima discesa durante la ripolarizzazione.
- 3) *Potenziale di riposo*: parametro del TMP che rappresenta il valore del potenziale della cellula a riposo del miocardio.
- 4) *Ampiezza*: è il valore massimo raggiunto dal picco di depolarizzazione (non è visibile quando è attiva la modalità *combined amplitude and resting potential handling*, vedi *preferences* per maggiori dettagli).

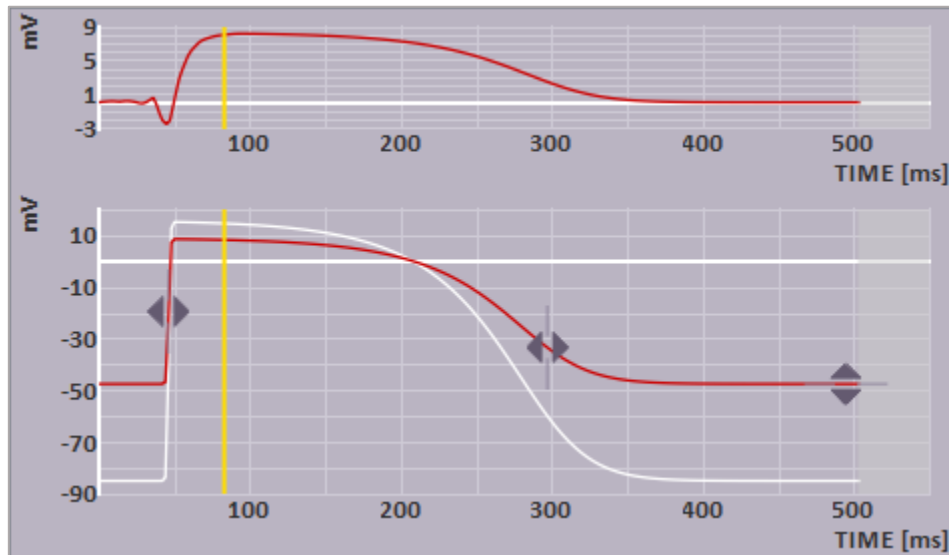
🔍 Parametri di pendenza

5. *Pendenza di plateau*: è legata alla *pendenza di ripolarizzazione* ed è vincolata ad essere minore o uguale ad essa.
6. *Pendenza di ripolarizzazione*, è legata alla *pendenza di plateau* ed è vincolata ad essere maggiore o uguale ad essa.

Tramite *doppio click* sull'icona di un singolo cursore è possibile reimpostare tale parametro al valore iniziale.

Mostra/nascondi EGM

Sopra il tracciato del TMP è possibile visualizzare il tracciato EGM in corrispondenza del nodo selezionato sulla superficie del cuore (*ECGs* → *Show EGM*).



(EGM e TMP in corrispondenza dello stesso nodo)

Pannello delle derivazioni

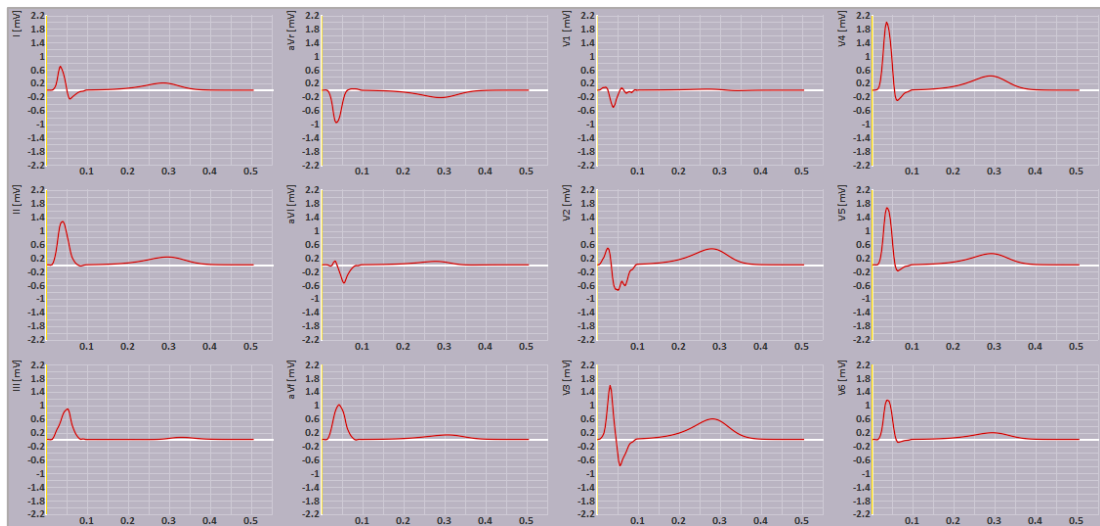
In molti dei *case files* forniti questo pannello mostra i tracciati elettrocardiografici risultanti da differenti derivazioni:

- *Standard_12*: sistema standard a 12 derivazioni.
- *VCG_(Frank)*: vettorcardiogramma secondo il sistema di derivazioni di Frank.
- *BSM_(nijmegen_64)*: sistema BSPM a 64 derivazioni.
- *Minimap_montage*: piccolo montaggio dei 9 segnali non filtrati, registrati dagli elettrodi di rilevazione nel sistema a standard a 12 derivazioni.
- *Single_lead*: derivazione singola con un elettrodo posizionabile su uno qualunque dei nodi del torace.

Questo pacchetto di derivazioni fa parte di un preciso *case file*, se venisse caricato un *case file* differente potrebbero essere presenti altre derivazioni.

La *linea gialla* indica l'istante selezionato sul tracciato e può essere traslata lungo tutto l'asse dei tempi cliccando su di essa con il *tasto sinistro* del mouse.

Per eliminare la griglia dai grafici vedi la sezione *Preferences*.



(Vista del pannello nel sistema standard a 12 derivazioni)

Tracciati

Per ogni sistema di derivazioni viene mostrata una sovrapposizione di tre tracciati ECG di colore diverso (selezionabili dal menu principale alla voce *ECGs*). In aggiunta può essere affiancato un grafico con *segnale RMS* (*Root Mean Square*) come mostrato nella figura sotto.



Measured ECG: mostra in *blu* il tracciato del segnale ottenuto sperimentalmente.



Initial ECG: mostra in *bianco* il tracciato in corrispondenza dei valori iniziali dei parametri.



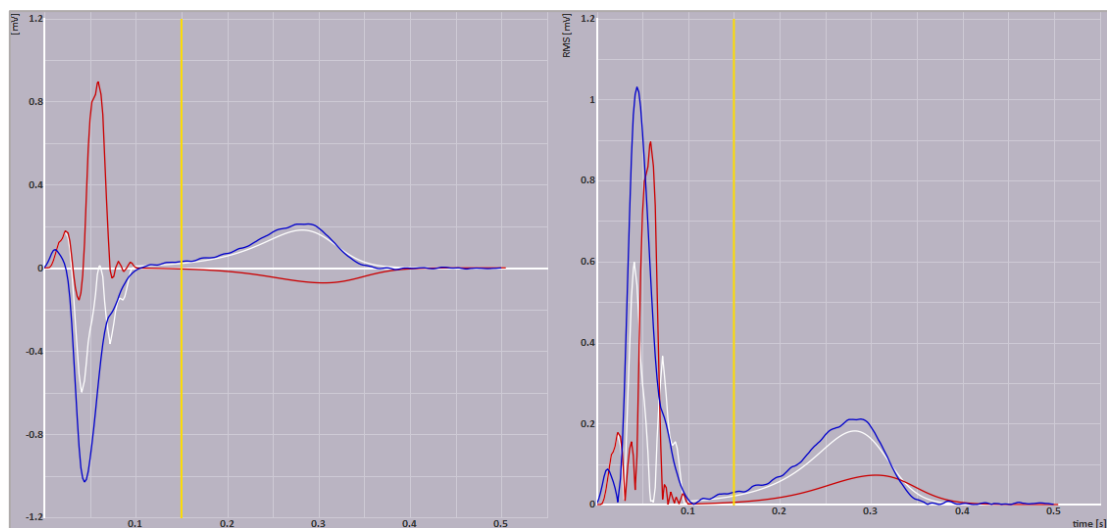
Adapted ECG: mostra in *rosso* il tracciato in corrispondenza dei parametri modificati.



EGM: mostra l'elettrogramma del nodo selezionato nel *pannello del TMP*.




Std curve: mostra il segnale RMS per ognuno dei tracciati selezionati in un grafico affiancato a quelli delle derivazioni.





(ECG a tre tracciati a sinistra e rispettivi RMS a destra: *measured* in *blu*, *adapted* in *rosso* e *initial* in *bianco*)

Accoppiamento/filtraggio

Dal menu principale alla voce *ECGs* sono disponibili anche tre tipi di filtri temporali da applicare al tracciato.

 *Use baseline correction:* è l'impostazione predefinita e applica il valore medio dei potenziali in modo tale che i valori all'inizio dell'onda P e alla fine dell'onda T siano zero (*imposta l'offset a 0 mV*).

 *Use DC coupling:* nessun filtro è applicato all'ECG (viene visualizzato il valore reale del livello DC)

 *Use AC coupling:* il valore medio dei potenziali nel tempo è settato a zero per tutte le derivazioni (come risultato dell'accoppiamento AC, senza correzione dello zero).

Selezione dell'istante di tempo

Se sono attive delle modalità di visualizzazione di parametri variabili nel tempo nel *pannello del cuore* o *del torace*, la selezione dei vari istanti di tempo si ottiene agendo sulla *linea gialla* presente sui tracciati (come descritto precedentemente). Una volta selezionata è possibile spostarsi sull'istante successivo o su quello precedente di 1 *ms* alla volta, utilizzando i tasti *freccia destra* e *freccia sinistra* della tastiera (10 *ms* tenendo premuto il tasto *shift*).

Quando un *case file* contiene più di un battito (atriale e/o ventricolare), è possibile effettuare un ingrandimento su un solo di essi facendo *doppio click* con il mouse, questo vale anche nel caso in cui si aggiunga un battito tramite l'apposita funzione presente nella *finestra degli strumenti* (*Av conduction*). La scelta di informazioni tra atri e ventricoli è determinata dalla selezione corrente attivata nel *pannello del cuore*.

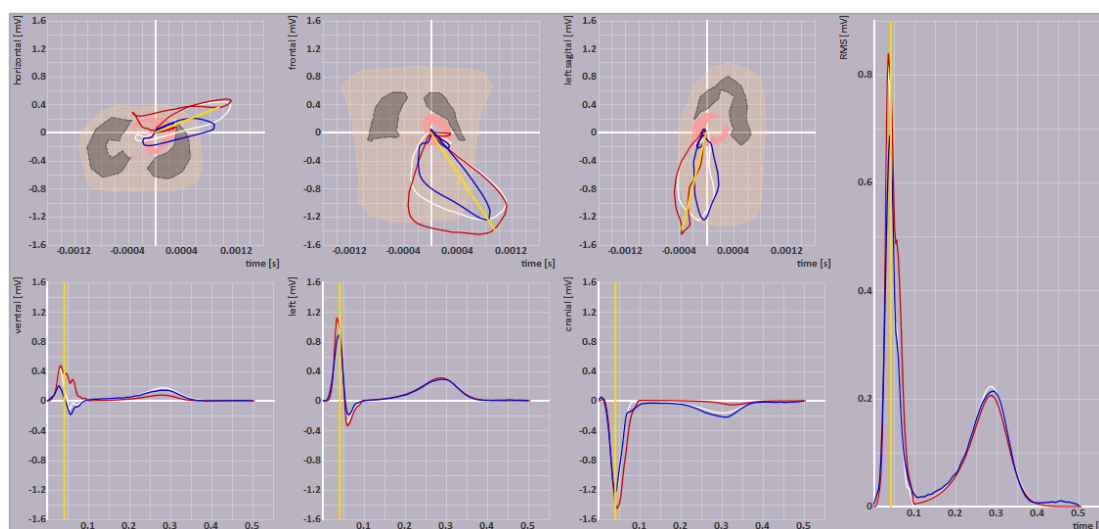
Per reimpostare il segnale in modo tale che vengano mostrati tutti i battiti è sufficiente fare un altro *doppio click* con il mouse.

La selezione di un intervallo di tempo su un tracciato viene fatta tenendo premuto il tasto sinistro del mouse e trascinando l'angolo del rettangolo di selezione che si crea fino al punto desiderato. A questa azione segue un ingrandimento di tutti i tracciati nell'intervallo selezionato nel *pannello delle derivazioni* un'attenuazione del colore degli intervalli di tempo esclusi sul *pannello del TMP*.

Vettorcardiogramma (VCG)

Il VCG è ricavato dal sistema di derivazioni di Frank. Vengono visualizzate tre sezioni del torace, disegnate attraverso il centro di gravità del ventricolo. Le curve tracciate sono le proiezioni del vettore in 3D su ognuno di questi piani secondo ognuno dei tipi di tracciato selezionati (*measured*, *adapted* o *initial*). Il vettore sulle tre sezioni è mostrato il giallo e varia la sua posizione a seconda dell'istante di tempo selezionato sugli ECG.

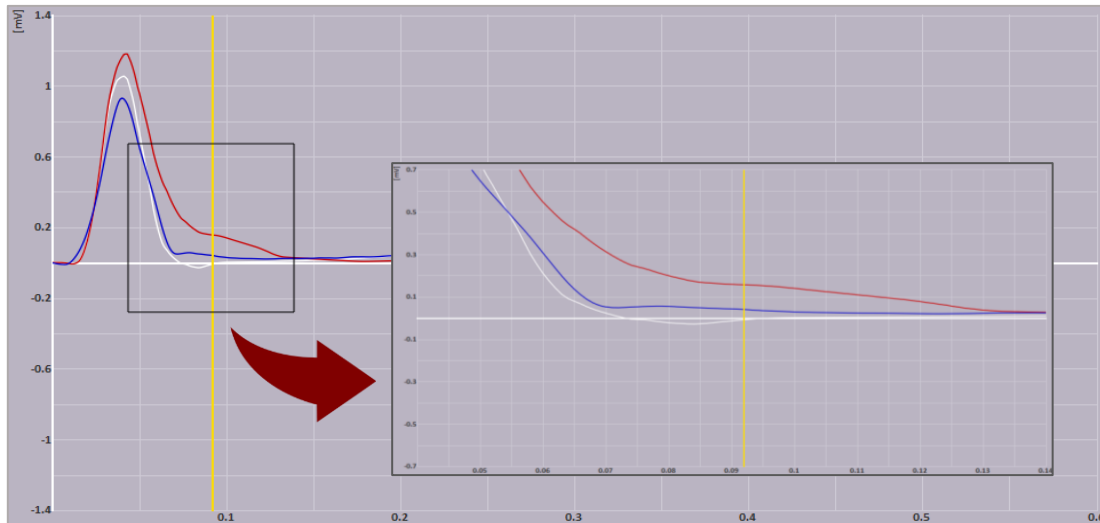
Nota: il piano orizzontale (horizontal) è visto dai piedi.



(Esempio di VCG e rispettivi RMS nel pannello delle derivazioni. Tracciati: *measured* in blu, *adapted* in rosso e *initial* in bianco. La linea gialla indica nei tracciati ECG l'istante di tempo, mentre sui diagrammi VCG il vettore del cuore in corrispondenza di tale istante.)

Zoom e scala degli assi

La scala dell'asse delle ampiezze può essere aumentata o ridotta *scrollando* la rotellina del mouse (l'asse dei tempi rimarrà invariato). Per la scala dell'asse dei tempi invece è necessario effettuare uno *zoom* sul tracciato: cliccando, tenendo premuto il tasto sinistro del mouse e trascinando il cursore si formerà un *rettangolo* modificabile a piacimento in larghezza e altezza, al momento del rilascio verrà effettuato uno *zoom* automatico sulla parte di tracciato selezionata con conseguente adattamento delle scale dei tempi e delle ampiezze.



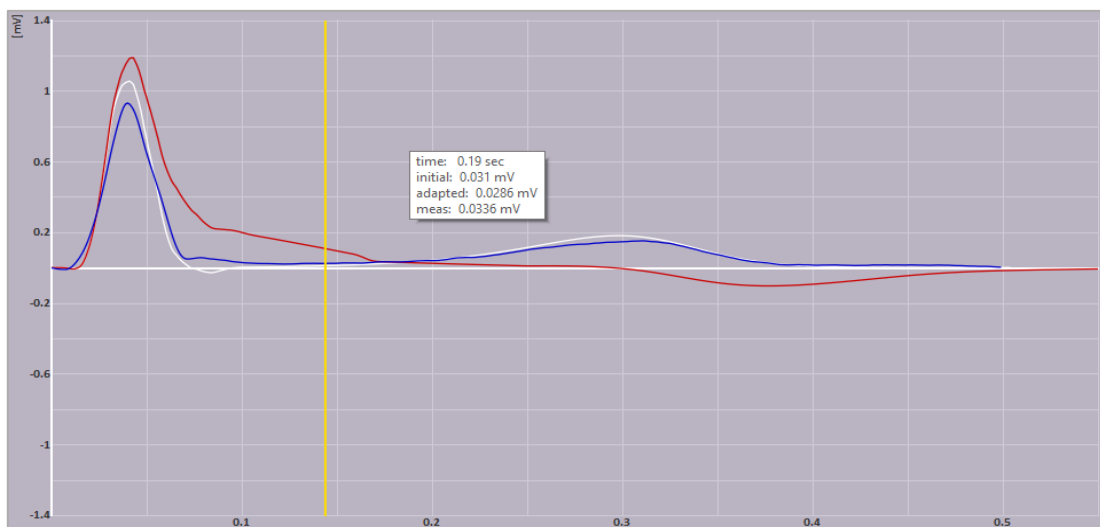
(Esempio di zoom sul tracciato in modalità *single_lead*)

Tramite *doppio click* si ripristina il grafico ai valori di scala predefiniti.

Visualizzazione dei valori sul tracciato

Sostando con il cursore su un punto del tracciato ECG di qualsiasi derivazione, comparirà un riquadro (come quello indicato dalla freccia in *figura sotto*) che mostra: l'istante di tempo (*time*) e i valori del potenziale in corrispondenza di tale istante dei tracciati rappresentati (*initial*, *adapted*, *measured*).

Lo stesso vale per il tracciato del segnale RMS (*std curve*).



(Riquadro dei valori in modalità *single_lead*)

Finestra degli strumenti

Tools

Sul menu principale alla voce *Options* → *Tools* è possibile aprire la *finestra degli strumenti*. Di default viene ancorata a sinistra della schermata principale, ma può essere trascinata in qualunque punto dello schermo svincolandola dall'ancoraggio. Tramite *doppio click* è possibile ripristinare la posizione di default.

Questa finestra contiene 4 voci che raggruppano diverse funzionalità.

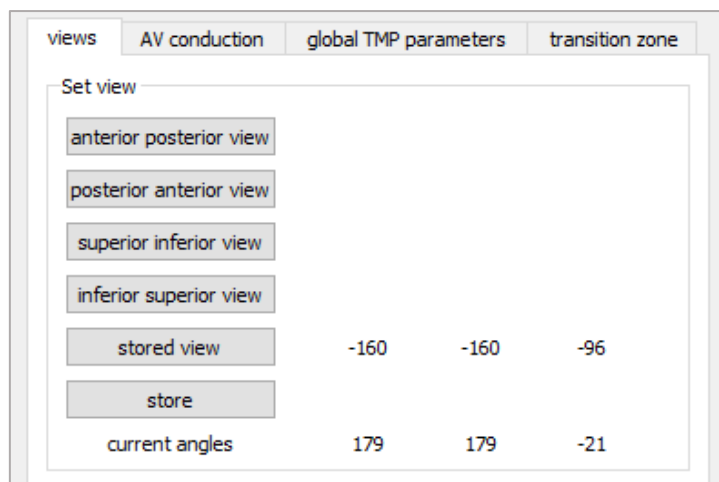
Views

Questa voce contiene diverse *viste predefinite* del cuore, che riportano il cuore a differenti angolazioni preimpostate:

<i>Anterior posterior view:</i>	(	0	0	0)
<i>Posterior anterior view:</i>	(	0	180	0)
<i>Superior inferior view:</i>	(	0	0	90)
<i>Inferior superior view:</i>	(	0	0	-90)

Stored view: mostra gli angoli visualizzati alla voce *current angles* salvati tramite il tasto *store*. Cliccandoci sopra si riporta il cuore all'orientazione salvata.

Gli angoli ottenuti ruotando il cuore con il mouse sono mostrati alla voce *current angles*.



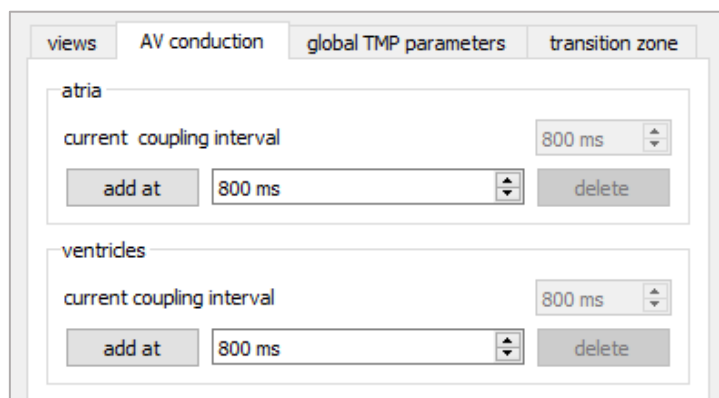
(Viste predefinite del cuore nella finestra Tools)

AV Conduction

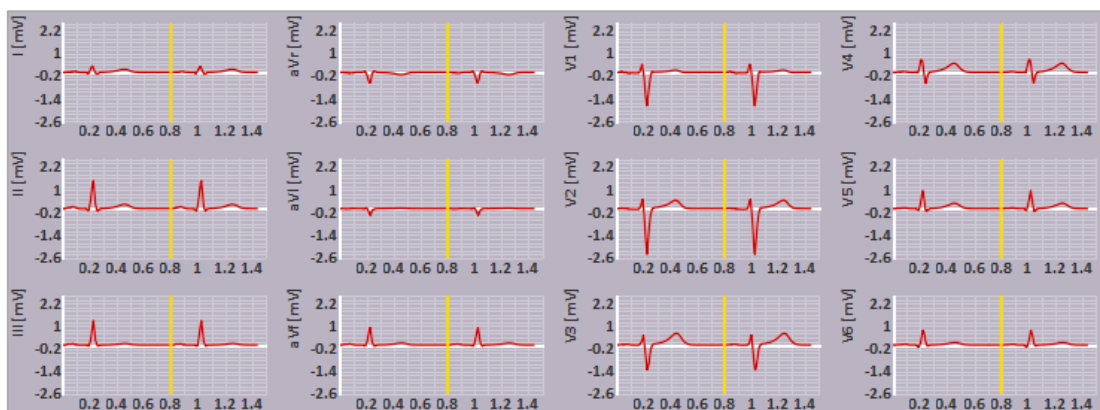
Su ECGSIM viene visualizzato un singolo battito cardiaco, ovvero una singola attivazione atriale e/o ventricolare. Questo, tuttavia, limita l'applicazione in educazione clinica poiché vengono di norma fornite strisce di ECG con più di un singolo battito cardiaco. Nonostante ciò ECGSIM fornisce la possibilità di aggiungere attivazioni atriali e/o ventricolari multiple.

Questa funzionalità permette di simulare ad esempio una tachicardia atriale con una conduzione AV irregolare oppure il cambiamento di un tracciato ECG nel tempo a seguito di un evento ischemico.

Ogni attivazione atriale e/o ventricolare può essere aggiunta cliccando su *add at* dopo aver impostato l'intervallo di tempo. Una striscia di ECG può avere una durata massima di 10 s, raggiunta tale lunghezza non verranno aggiunti altri eventi.



(Aggiunta di un'attivazione ventricolare e una atriale a 800 ms)



(Striscia risultante di ECG nelle 12 derivazioni standard.

La linea gialla si trova a 800 ms, notare come in corrispondenza di tale istante si verifichi il secondo battito cardiaco)

Global TMP parameters

Questa modalità è divisa in tre categorie di funzioni:

- *Statistics of the timing TMP parameters:* mostra alcuni parametri temporali statistici del TMP (tutti in *ms*).
- *Adapt the timing of TMP parameters:* consente la modifica di parametri statistici quali media (*mean*) e deviazione standard (*s.d.*) dei tempi di: depolarizzazione (*depolarization*), ripolarizzazione (*repolarization*) e del potenziale di riposo (*ARI*) del TMP. Questi parametri sono influenzati anche dalle modifiche simultanee effettuate direttamente sulla curva del potenziale nel *pannello del TMP*.

I parametri temporali sono controllati automaticamente al fine di evitare l'inserimento di valori non validi (come depolarizzazioni inferiori a 0 ms o ARI inferiori a 50 ms).

Notare che la modifica dei parametri di depolarizzazione porterà un cambiamento anche alla durata del potenziale d'azione (*adp*) e viceversa, infatti si ricorda che il tempo di ripolarizzazione è calcolato come: $rep = dep + adp$.

The screenshot shows a software window titled 'global TMP parameters' with four tabs: 'views', 'AV conduction', 'global TMP parameters' (selected), and 'transition zone'. The window is divided into three main sections:

- Statistics of the timing TMP parameters (all in ms):** A table displaying statistical data for four parameters.
- Adapt the timing of TMP parameters:** A section with input fields for 'mean' and 's.d.' for 'depolarization', 'ARI', and 'repolarization', each with a 'reset' button. A 'reset all' button is also present.
- Adapt other TMP parameters:** A section with input fields for 'maximum TMP', 'resting potential', 'depolarization slope', 'plateau slope', and 'repolarization slope', each with a 'reset' button. An 'apply' button is at the bottom right.

	min.	mean	max.	s.d.
depolarization	8	46,8	96,2	17,4
ARI	234	258	312	15,4
APD 90	262	286	340	15,4
repolarization	263	305	355	13,2

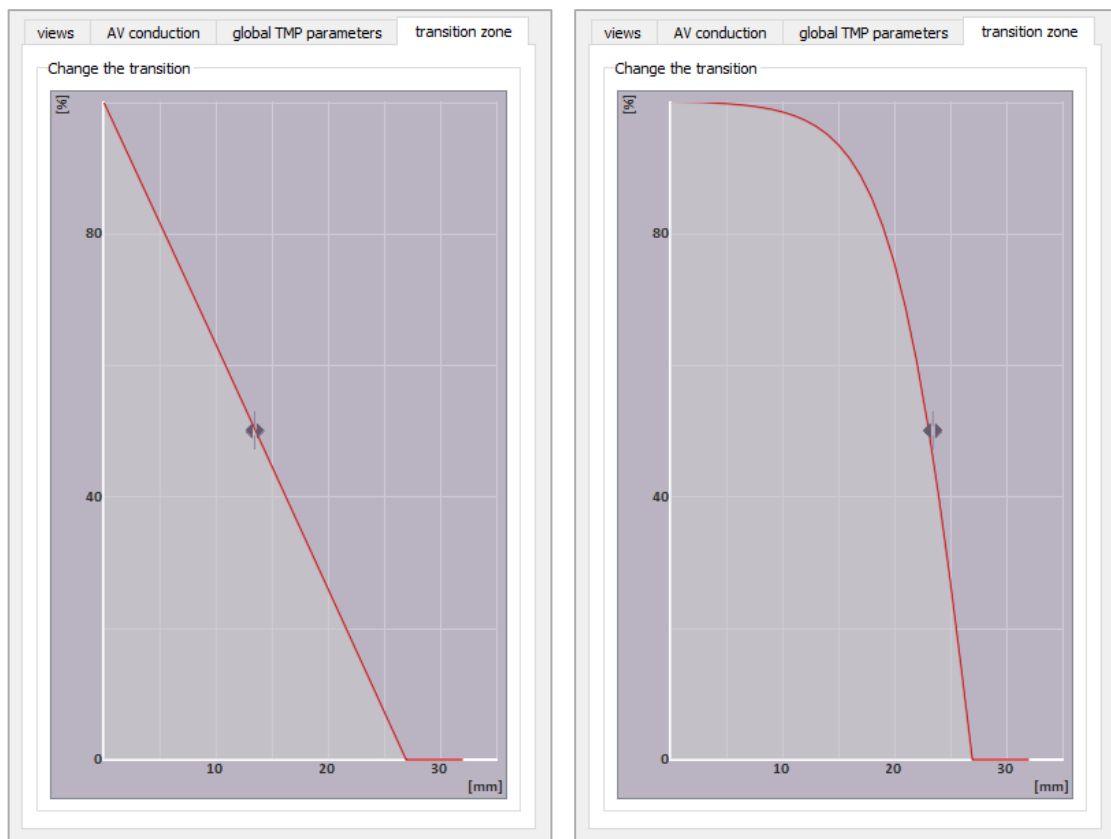
(Finestra di modifica dei parametri globali del TMP)

- *Adapt other TMP parameters*: consente aggiustamenti globali su ampiezza massima del picco di depolarizzazione (*maximum TMP*), ampiezza del potenziale di riposo (*resting potential*) e la pendenza (*slope*) delle curve di depolarizzazione, plateau e ripolarizzazione.

Transition zone

Quando è selezionato un nodo nel *pannello del cuore* gli adattamenti sono applicati anche alla regione che lo circonda, in ragione del 100% in prossimità del nodo fino a zero ai bordi. Questa modalità, agendo sul *cursore della curva* in direzione delle frecce, permette di modificare la distribuzione delle modifiche in percentuale in funzione della distanza dal nodo centrale di un punto interno alla regione.

Nota: le modifiche alla curva sono applicate alla regione solo se è stata selezionata la modalità di selezione *single region* dal menu principale (*Heart* → *Cummulation mode*).

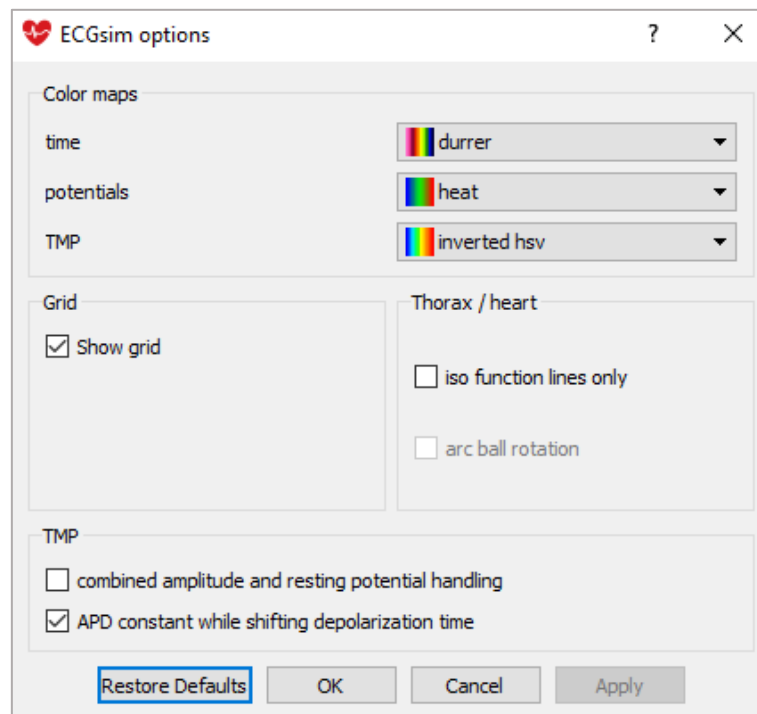


(A sinistra è mostrata la curva di distribuzione lineare delle modifiche, mentre a destra è stata modificata, aumentando la percentuale di modifica in prossimità dei bordi)

Finestra delle preferenze

Preferences

Si accede a questa finestra dal menu principale alla voce *Options*. Una volta aperta non possono essere effettuate altre azioni al di fuori di quelle contenute nella finestra fino alla chiusura.



(Finestra della modalità preferences)

Color maps

Consente la modifica della scala dei colori delle superfici di cuore e torace. I colori possono essere modificati per le varie funzioni sotto tre differenti voci:

- *Time*: per i colori dei tempi di depolarizzazione, ripolarizzazione e ARI visualizzati sulla superficie del cuore.
- *Potentials*: per i colori del contributo del cuore, del campo di potenziale sul cuore e di tutte le funzioni di superficie del torace.
- *TMP*: per i colori di ampiezza, potenziale di riposo e TMP sulla superficie del cuore.

Grid

I grafici nei *pannelli di tracciati e TMP* sono visualizzati su una griglia, la quale può essere mostrata o nascosta spuntando la casella *grid*.

La griglia viene visualizzata solo se le dimensioni dell'area selezionata non sono troppo piccole, in tal caso la griglia viene disabilitata e ripristinata quando l'area viene ingrandita.

Thorax/Heart

- *Iso function line only*: se spuntata, durante le modalità *BSM* e *sensitivity map*, attive per il *pannello del torace*, vengono visualizzate solo linee invece di fasce di colori a differenti sfumature. L'utilizzo di sole linee per la visualizzazione delle funzioni consente di vedere in semitrasparenza anche polmoni e cuore.
- *Arc ball*: funzione in via di sviluppo.

TMP

Per il TMP sono disponibili due specifiche opzioni:

- *Combined amplitude and resting potential handling*: collega le modifiche del potenziale di riposo a quelle del picco di ampiezza della depolarizzazione, ovvero, nel caso sia spuntata, viene mostrato il cursore di modifica solo per potenziale di riposo nel tracciato del *pannello del TMP*, dunque agendo su di esso subirà una modifica opposta automatica anche l'ampiezza del picco di depolarizzazione. Nel caso invece sia disabilitata è mostrato anche il cursore per il picco di depolarizzazione.
- *ADP constant while shifting depolarization time*: nel caso sia spuntata la traslazione del tempo di depolarizzazione comporta anche una traslazione del tempo di ripolarizzazione. In poche parole, questa modalità consente di traslare l'intero tracciato del TMP oppure i tempi di ripolarizzazione e depolarizzazione separatamente.

Edit menu

Accedendo dal menu principale alla voce *Edit* si aprirà una tendina con diverse funzionalità.

Undo/redo

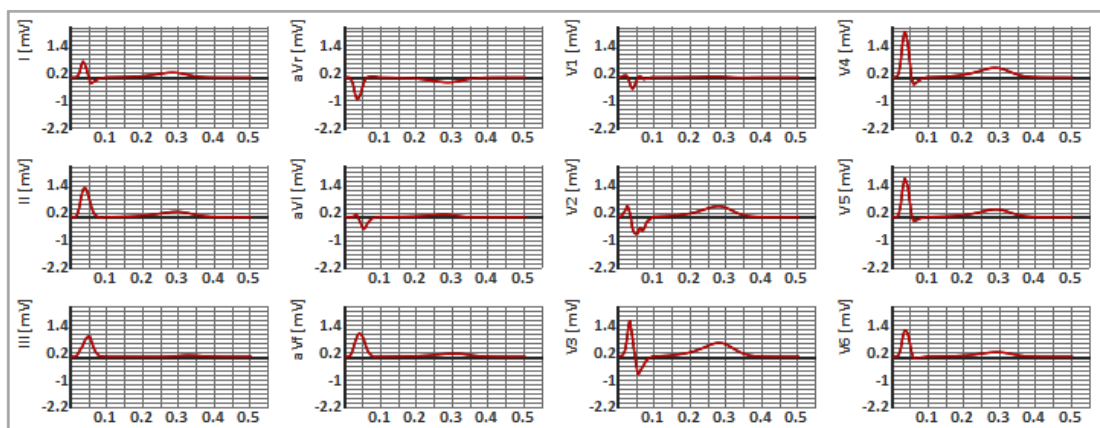
Sono le classiche operazioni di annullamento e ripetizione di azioni eseguite.

Reset beat

Presente anche come icona nella *toolbar*, ripristina il cuore alle condizioni iniziali, annullando tutte le modifiche effettuate sui parametri. Impostazioni modificate come quelle presenti nella finestra *preferences* non verranno influenzate.

Copy

Funzione che permette di copiare il contenuto di ogni singolo pannello, selezionando una delle voci: *heart*, *ECG*, *thorax* o *TMP*.



(Copia del pannello dei tracciati)

Time

Contiene le azioni di spostamento della barra dell'istante di tempo nel *pannello del TMP* e nel *pannello dei tracciati* e l'icona di *play/stop* della modalità *movie*.

Risulta molto più rapido lo spostamento tramite tastiera, con i tasti *freccia destra/sinistra* si effettuano spostamenti di *1 ms*, ovviamente tenendo premuto il tasto la sequenza di

spostamento sarà più rapida. Se si tiene premuto il tasto *shift* contemporaneamente ai tasti *freccia destra/sinistra* gli spostamenti saranno di *10 ms* per volta. La *barra gialla* si muove contemporaneamente sul *pannello del TMP* che sui grafici nel *pannello dei tracciati*.

File menu

In alto a sinistra della schermata principale è presente il menu *File*, contenente diverse funzionalità quali: caricamento, salvataggio ed esportazione dei *case files*.

Open

Dal menu *Open* è possibile aprire un file in formato *.ECGsimcase* da qualsiasi cartella all'interno del computer.

Open default

Tramite l'opzione *Open default* si viene indirizzati automaticamente alla cartella contenente i *case files* scaricati durante (o successivamente) l'installazione di ECGSIM. I file caricabili da questa cartella sono di sola lettura e se modificati non possono essere salvati nella loro cartella d'origine.

Save/Save as

Il menu *Save* consente di salvare i *case files* in formato *.ECGsimcase*.

Una volta che sono state salvate le modifiche di alcuni parametri di funzioni, queste saranno ancora visibili quando si riaprirà il file.

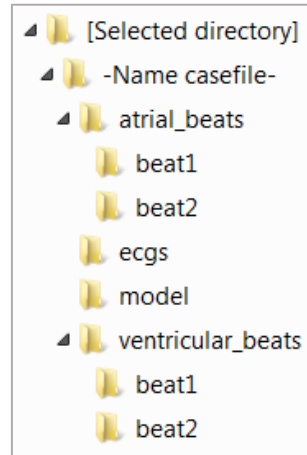
Come detto sopra non è possibile sovrascrivere uno dei file forniti di default, ma qualsiasi variazione applicata ad essi può essere salvata in un unico file all'interno di una cartella diversa da quella d'origine.

Load ECG file

Funzione che permette di caricare un file ECG, che rimpiazzerà i tracciati ECG mostrati nel *pannello dei tracciati*. Per ripristinare i tracciati ECG originali è necessario ricaricare il *case file*.

Export

Questa funzione apre una finestra per la scelta di una *directory* nella quale saranno esportate tutte le parti rilevanti di un *case file* in differenti cartelle (come mostrato in *figura sotto*).



(Esempio di struttura in cartelle di un case file esportato)

Di seguito sono elencati i file esportati:

ECG files

La frequenza di campionamento è di 1000 Hz e generalmente il numero di segnali misurati è minore del numero di nodi sul torace, perciò i restanti segnali sono interpolati.

Nella sottocartella *ecgs* sono salvati i seguenti file:

- Tracciato *measured* ECG sperimentale (*.refECG*; vedi *Matrix*)
- Tracciato *adapted* ECG simulato con i parametri modificati (*.adaptECG*; vedi *Matrix*)

Triangulation files

Sono file (vedi *Geometry*) che contengono i dati per la forma di:

- Atri e ventricoli
- Torace
- Polmoni destro e sinistro
- Cavità sanguigne di destra e di sinistra

Sono salvati nella sottocartella *model*.

Source parameters

Sono i valori dei parametri di ventricoli e atri (se disponibili) modificati dall'utente:

- Tempi di depolarizzazione in *ms* (*.user.dep*; vedi *ASCII*)
- Tempi di ripolarizzazione in *ms* (*.user.rep*; vedi *ASCII*)
- Ampiezza in *mV* (*.user.ampl*; vedi *ASCII*)
- Potenziale di riposo in *mV* (*.user.rest*; vedi *ASCII*)
- Pendenze di depolarizzazione (*.user.depslope*; vedi *ASCII*), di ripolarizzazione (*.user.repslope* vedi *ASCII*) e plateau (*.user.platslope*; vedi *ASCII*)

Sono salvati per ogni battito alla sottocartella *beat[1-x]* nelle cartelle *ventricular_beats* e *atrial_beats*.

TMP waveforms

Sono i dati relativi alle forme d'onda del TMP di ogni nodo di ventricoli e atri (se disponibili):

- Tracciato del TMP calcolato con i parametri modificati dall'utente (*.user.source*; vedi *Matrix*)

Sono salvati per ogni battito alla sottocartella *beat[1-x]* nelle cartelle *ventricular_beats* e *atrial_beats*.

Lead locations

Questo tipo di file contiene le posizioni di tutti gli elettrodi. A esempio per il sistema standard a 12 elettrodi le posizioni sono salvate nell'ordine *VR*, *VL*, *VF*, *VI-V6*. I seguenti file sono salvati nella sottocartella *ecgs*:

- Posizione di ciascun elettrodo per il rispettivo sistema (*.elec*; vedi *ASCII*)

Formati dei file

Matrix

Il formato dei file matrice (Matrix) è:

$$\begin{array}{ccccccc} L \text{ (long)}, & T \text{ (long)} & \rightarrow & p(1, 1), & p(1, 2), & \dots, & p(1, T) \\ & & & p(2, 1), & p(2, 2), & \dots, & p(2, T) \\ & & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & p(L, 1), & p(L, 2), & \dots, & p(L, T) \end{array}$$

Dove L è il numero di righe e T il numero di colonne, mentre $p(l,t)$ è il dato (*float type*).

ASCII files

Il formato dei file ASCII (text) è:

$$\begin{array}{ccc} L, 1 & \rightarrow & p(1, 1) \\ & & p(2, 1) \\ & & \dots \\ & & \dots \\ & & p(L, 1) \end{array}$$

Dove L è il numero di righe e $p(l,1)$ è il dato.

Geometry files

Il formato dei file che descrivono la geometria degli oggetti è:

$$\begin{array}{cccc} npnt \rightarrow & 1 & x(1), & y(1), & z(1) \\ & 2 & x(2), & y(2), & z(2) \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & npnt & x(npnt), & y(npnt), & z(npnt) \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc} ntri \rightarrow & 1 & ind(1, 1), & ind(1, 2), & ind(1, 3) \\ & 2 & ind(2, 1), & ind(2, 2), & ind(2, 3) \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & ntri & ind(ntri, 1), & ind(ntri, 2), & ind(ntri, 3) \end{array}$$

Dove $npnt$ è il numero dei nodi e $x(i)$, $y(i)$ e $z(i)$ sono le coordinate (in *metri*) del nodo i .

Il numero dei triangoli è $ntri$ e $ind(j,1)$, $ind(j,2)$ e $ind(j,3)$ sono i nodi del triangolo j .

L'ordine degli indici per un triangolo definisce l'orientamento dello stesso; se visti dall'esterno i nodi sono numerati in senso orario.

Download e installazione

Tutto il materiale scaricabile è reperibile sul sito www.ecgsim.org.

Per scaricare il software seguire i seguenti passi:

- Collegarsi al sito <https://www.ecgsim.org/downloads/>.
- Effettuare una registrazione (facoltativo).
- Effettuare una donazione per supportare il progetto (facoltativo).
- Selezionare l'ultima versione rilasciata di ECGSIM: *Release 3.0.0 (June 2014)*, fruibile sia per Windows che per MacOS X.
- Scaricare il pacchetto di installazione.
- Iniziare l'installazione di ECGSIM seguendo tutte le indicazioni.
- Nella sezione *Select components* si consiglia di spuntare tutti i *case files* disponibili: *Normal young male case*, *Normal male 2 case*, *Combine sinus/WPW case*, *Kent bundle case*, *Ectopic beat case*. Nel caso in cui nei passaggi successivi si verifichi un errore, segnalato dal messaggio *Error* che comunica che non è supportato il protocollo SSL per la versione corrente, procedere lo stesso con il processo di installazione ed eventualmente scaricare i *case files* in seguito all'indirizzo: <https://www.ecgsim.org/downloads/cases.php>.

Nota: il case file normal_young_male.ECGsimcase sembra non essere reperibile al link fornito sopra, è possibile però scaricarlo installando la versione 2.2.1 di ECGSIM. Dopo aver scaricato il case file, conservarlo a partire dalla directory dedicata (vedi la sezione File Menu alla voce Open default), disinstallare la versione 2.2.1 e installare la versione 3.0.0, dunque reinserirlo nella directory dedicata ai case files.

- Procedere fino al completamento dell'installazione.

ECGSIM è pronto all'uso.

Conclusione e commenti

ECGSIM è un programma pensato come strumento che faciliti la comprensione dei meccanismi che portano alla variazione di un tracciato ECG. Grazie alle geometrie tridimensionali di cuore e torace create, è immediata l'individuazione della relazione tra la variazione del tracciato ECG rispetto alle condizioni normali e i nodi sulla superficie del cuore che presentano anomalie nell'attivazione.

ECGSIM si rivela dunque un utile strumento a scopo didattico, che permette allo studente di avere un riscontro delle conoscenze acquisite, simulando patologie e anomalie di attivazione e verificandone i tracciati ECG risultanti. L'assenza dell'indicazione PQRST sul tipo di onda potrebbe rendere inizialmente difficoltosa la lettura dei tracciati da parte dello studente, soprattutto nei casi in cui queste abbiano una forma diversa da quella in condizioni normali. A questa mancanza va aggiunto il fatto che non tutte le derivazioni siano facilmente leggibili, ma questo problema si risolve con la modalità *single_lead*, posizionando a piacimento l'elettrodo sul torace.

Questo pacchetto software è presentato anche come un aiuto in ambito di ricerca. L'utilizzo è analogo a quello che ne può essere fatto a scopo didattico. Ha il limite oggettivo di non essere uno strumento diagnostico, ovvero non è possibile formulare una diagnosi a partire dai tracciati ECG simulati dal programma. Questo perché ECGSIM fornisce un tracciato ECG, a partire da condizioni ipotetiche della superficie del cuore, tramite una funzione di trasferimento, la quale, per quanto fedele possa essere alle condizioni fisiologiche, non sostituisce i meccanismi reali che avvengono all'interno del corpo umano, che possono influenzare le rilevazioni. Ha dunque il pregio di poter fornire un possibile riscontro al momento di una diagnosi o durante la progettazione di un elettrocardiografo come strumento di confronto del corretto funzionamento, ma va comunque considerato per ciò che è, uno strumento di simulazione, del quale l'utente con un minimo di buonsenso può comprendere pregi e limiti del suo utilizzo.

È chiaro dunque che non può essere utilizzato né come strumento diagnostico in ambito clinico, né come gold standard di calibrazione di elettrocardiografi.

L'utilizzo è piuttosto semplice e di immediata comprensione per qualsiasi utente abbia una minima conoscenza di inglese, della fisiologia del cuore e dei meccanismi che portano alla creazione di un tracciato ECG.

Bibliografia e approfondimenti

- 1) A. van Oosterom, T. Oostendorp: ECGSIM; an interactive tool for studying the genesis of QRS-T waveforms. *Heart* 2004, 90, 165-168.
- 2) A. van Oosterom, G. Windau, G.J.M Huiskamp: Simulation on a PC of the QRS-T wave forms. In: *Electrocardiology '93* ed: P.W. Macfarlane P. Rautaharju World Scientific, Singapore, 1994, 97-100.
- 3) van Dam PM, Oostendorp TF, Linnenbank AC, van Oosterom A. Non-Invasive Imaging of Cardiac Activation and Recovery. *Annals of Biomedical Engineering* 2009;37(9):1739-56.
- 4) van Dam PM, van Oosterom A. Atrial Excitation Assuming Uniform Propagation. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology* 2003;14(s10): S166-S71.
- 5) A. van Oosterom: Interactive simulation of the QRS wave forms. In: *Images of the Twenty-first Century. Proc. of the Annual Internat. Conf. of the IEEE Eng. in Med. and Biol. Soc.* ed: Y. Kim, F.A. Spelman IEEE Publishing Services, New York, 1989, 183-184.
- 6) A. van Oosterom, G.J.M. Huiskamp: The Effect of Torso Inhomogeneities on Body Surface Potentials. *J. of Electrocardiol.* 1989, 22/1,1-20.
- 7) van Dam PM, van Oosterom A. Volume conductor effects involved in the genesis of the P wave. *Europace* 2005;7: S30-S8.
- 8) J.J.M. Cuppen, A. van Oosterom: Model studies with the inversely calculated isochrones of ventricular depolarization. *IEEE Trans. Biomed. Eng* 1984, BME-31, 652-659.
- 9) G.J.M. Huiskamp, A. van Oosterom: The depolarization sequence of the human heart surface computed from measured body surface potentials. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 1988, BME-35, 1047-1058.
- 10) van Dam P, Oostendorp T, van Oosterom A. Application of the fastest route algorithm in the interactive simulation of the effect of local ischemia on the ECG. *Medical & Biological Engineering & Computing* 2009;47(1):11-20.
- 11) A. van Oosterom: Genesis of the T-wave as based on an Equivalent Surface Source Model. *J. Electrocardiol.* 34S, 2001, 217-227.

- 12) K. Harumi, M.J. Burgess, J.A. Abildskov: A Theoretic Model of the T Wave. *Circulation* XXIV, 657-668, 1966.
- 13) D.B. Geselowitz: On the Theory of the Electrocardiogram *Proceedings IEEE* 77/6, 857-876, 1989.
- 14) D.B. Geselowitz: Description of cardiac sources in anisotropic cardiac muscle. Application of bidomain model. *J. Electrocardiol.* 1992, 25S, 65-67.
- 15) A. van Oosterom: The Equivalent Surface Source Model in its Application to the T Wave . *Electrocardiology'01* 2002, C. A. Pastore, 527-535.
- 16) A. van Oosterom: The Dominant T-wave and its Significance. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2003, 14S, 180-187.
- 17) van Huysduynen BH, Swenne CA, Draisma HH, Antoni ML, Van De Vooren H, Van Der Wall EE, et al. Validation of ECG indices of ventricular repolarization heterogeneity: a computer simulation study. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2005;16(10):1097-103.
- 18) van Huysduynen BH, Swenne CA, Bax JJ, Bleeker GB, Draisma HH, van Erven L, et al. Dispersion of repolarization in cardiac resynchronization therapy. *Heart Rhythm* 2005;2(12):1286-93.
- 19) Patuwo T, Wagner GS, Ajijola O. Comparison of Teaching Basic Electrocardiographic Concepts with and without ECGSIM: An Interactive Program for Electrocardiography. In: *Computers in Cardiology* 2007. Durham NC; 2007.
- 20) Kesek M, Gustavsson O, Wiklund U. Nondipolar content of T wave derived from a myocardial source simulation with increased repolarization inhomogeneity. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2009;14(2):185-92.
- 21) Galeotti L, Strauss DG, Ubachs JF, Pahlm O, Heiberg E. Development of an automated method for display of ischemic myocardium from simulated electrocardiograms. *J Electrocardiol* 2009;42(2):204-12.
- 22) van Dam P M, Oostendorp T F, van Oosterom A. Interactive Simulation of the Activation Sequence: replacing Effect by Cause. *Computers in Cardiology* 2011; Hang Zou, China: IEEE Computer Society Press.
- 23) Burch G.E., *The history of vectorcardiography*, in *Medical History Supplement*, vol. 5, 1985, pp. 103-131, PMC 2557408, PMID 3915520.

- 24) G. Oreto, F. Luzzza; “Elettrocardiogramma: un mosaico a 12 tessere”; Milano, Centro scientifico editore; Edi-ermes, 2010.
- 25) <https://www.ecgsim.org/index.php>.
- 26) <https://www.ru.nl/mbphysics/>.
- 27) <https://www.ecgsim.org/manual/license.php>.